

Análisis para la Selección de Parámetros Adecuados para una Red Inalámbrica en Tiempo Real

Guillermo Friedrich, Guillermo Reggiani y Sergio Pellegrino

Grupo SITIC – Universidad Tecnológica Nacional – FRBB
{gfried, ghreggiani, spellegrino}@frbb.utn.edu.ar

Resumen. Las redes de área local inalámbricas tienen un rol creciente en diversos escenarios que se presentan en industrias, empresas y también a nivel doméstico (domótica). La incorporación de este tipo de tecnologías en sistemas embebidos aplicados a monitoreo, instrumentación y control es de gran importancia por la facilidad y flexibilidad que brindan para su instalación y despliegue. El estándar IEEE 802.11 define el conjunto de protocolos más comúnmente utilizado en este tipo de redes, estando sus principales funciones en las capas físicas y de control de acceso al medio. Los mecanismos y procedimientos implementados en estas dos capas determinan fuertemente el rendimiento y las posibilidades de aplicación de la red. El presente trabajo se analiza diversos ensayos con el fin de determinar las mejores condiciones de operación de las dos capas mencionadas, y poder así elaborar pautas para la mejor operación de la red en función de los requerimientos de tiempo real. Para realizar algunos de estos ensayos se utilizaron módulos RCM5600W, basados en microcontrolador Rabbit 5000, con interfaz WiFi 802.11b/g.

Palabras Claves: WLAN; MAC; sistemas embebidos; rendimiento; tiempo real.

1 Introducción

Las redes de área local inalámbricas tienen un rol creciente en diversos escenarios que se presentan en industrias, empresas y también a nivel doméstico (domótica). La incorporación de este tipo de tecnologías en sistemas embebidos aplicados a monitoreo, instrumentación y control es de gran importancia por la facilidad y flexibilidad que brindan para su instalación y despliegue. Sin embargo, el uso del medio inalámbrico presenta desafíos que deben ser tenidos en cuenta y resueltos.

El estándar IEEE 802.11 [1] define el conjunto de protocolos más comúnmente utilizado en este tipo de redes, estando sus principales funciones en las capas físicas (PHY) y de control de acceso al medio (MAC). Los mecanismos y procedimientos implementados en estas dos capas determinan fuertemente el rendimiento y posibilidades de aplicación de la red. En trabajos anteriores [2][3][4][5] se han presentado y evaluado propuestas de variantes al mecanismo de control de acceso al medio de 802.11 y 802.11e, a fin de mejorar el desempeño de la red para aplicaciones de tiempo real. Una dificultad encontrada para llevar a la práctica tales propuestas es la

necesidad de efectuar modificaciones a nivel de la capa MAC. Por lo general los controladores de red son cerrados, utilizan los parámetros fijados por el estándar que implementan y no permiten efectuar cambios. Por tal motivo, una alternativa que se propone es no modificar la capa MAC e implementar las estrategias de control del acceso a la red a un nivel más alto.

Como un paso previo, en este trabajo se presentan los resultados obtenidos a partir de una serie de ensayos empíricos realizados a fin de determinar las mejores condiciones de operación de las capas PHY y MAC, teniendo en cuenta los requerimientos típicos que se le pueden presentar a una red inalámbrica de dispositivos embebidos. Dependiendo de la naturaleza de las aplicaciones estos requerimientos pueden ser una combinación de frecuencia de envío de paquetes de distinto tamaño, tolerancia de pérdidas de paquetes y latencia máxima. El conocimiento adquirido a partir de estos ensayos será de utilidad para un mejor diseño y puesta a punto de las estrategias de control a implementar.

Cabe mencionar otros trabajos que sirven de base al presente: en [6] se plantea un análisis del rendimiento de una red WLAN 802.11 en base a los efectos que producen distintos factores como la relación señal-ruido (SNR), protocolos de transporte, chip-set, tamaño de trama y número de usuarios. Se evaluó la tasa de transferencia de bits y el retardo de la transmisión. Los resultados obtenidos indicaron que el retardo de la red está exponencialmente relacionado con la SNR. Las mediciones también mostraron que para un tamaño de archivo determinado, la tasa de transferencia de la red alcanzaba un valor de saturación con un determinado SNR crítico. En [7] se presentan los resultados de un estudio de rendimiento de un enlace WLAN 802.11g estacionario interno, para un entorno de oficina pequeña. Se analizan la variación de la tasa de transferencia, la fluctuación de fase (jitter) y la SNR. Los ensayos se realizaron en diferentes ubicaciones dentro de la oficina y se obtuvieron relaciones entre la tasa de transferencia y el jitter con respecto a la SNR.

El resto del trabajo está organizado de la siguiente manera: en el punto II se describen los ensayos realizados y se analizan los resultados obtenidos y en el punto III se detallan las pautas para el diseño y configuración de una red en tiempo real y en IV se presentan las conclusiones.

Cabe señalar que para realizar algunos de estos ensayos se utilizaron módulos RCM5600W [8], basados en microcontrolador Rabbit 5000, con interfaz WiFi 802.11b/g.

2 Ensayos Realizados

Los ensayos se realizaron sobre redes basadas en IEEE 802.11b/g, usando computadoras portátiles y módulos embebidos Rabbit RCM5600W. Se utilizaron programas cliente y servidor basados en sockets UDP, desarrollados a los fines de estas pruebas en lenguaje C. El programa cliente envía paquetes de datos de manera continuada al servidor y el servidor contabiliza los mismos, mostrando periódicamente la cantidad de bits recibidos. El software en las computadoras corrió sobre sistema operativo Linux, distribución Wifislax [9].

Paralelamente se utilizó el programa iptraf-ng [10] para efectuar mediciones de tasa de transferencia, a fin de comparar con los resultados obtenidos mediante los programas antes mencionados.

Los ensayos se realizaron en un ambiente que, si bien no estaba exento de otras fuentes de emisión en el mismo canal, se pudo observar un margen de alrededor de 30 dB con respecto a las mismas (medido con inSSIDer Office [11]).

2.1 Tasa de transferencia (throughput) a distintas velocidades entre dos computadoras.

En este ensayo se utilizaron dos computadoras conectadas entre sí formando una red ad-hoc, con la finalidad de establecer la variación de la tasa de transferencia en función de la tasa de bits establecida, y así poder sacar conclusiones con respecto a cuál sería la tasa más conveniente a adoptar. Se transfirieron paquetes UDP de manera continuada desde una computadora hasta otra. Se efectuaron unos ensayos con paquetes de 1000 bytes y otros con paquetes de 50 bytes. En la Fig. 1 se observan los resultados obtenidos, que reflejan la cantidad de bits recibidos por unidad de tiempo en la computadora de destino.

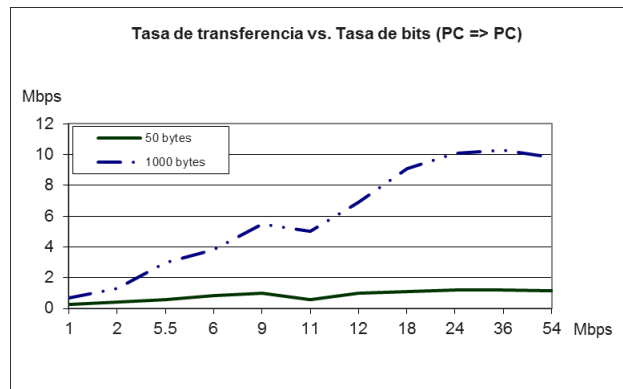


Fig. 1. Tasa de transferencia de una computadora a otra en función de la tasa de bits.

Se puede observar que la tasa de transferencia llega al máximo para una tasa de bits de 24 Mbps y posteriormente hay un decrecimiento, debido a la menor inmunidad al ruido en estas tasas de transmisión.

Se observa que el rendimiento para paquetes cortos (50 bytes) es muy inferior, debido a la sobrecarga que impone el mecanismo de control de acceso al medio (tiempos de separación entre tramas, ventana de contención, encabezados, acuse de recibo).

Por otra parte, en la Fig. 2 se presentan los mismos resultados pero ahora relativos a la tasa de bits usada en cada caso. Esto sirve para tener una estimación de la robustez e inmunidad al ruido para cada tasa de bits. En esta figura se hace más notable la diferencia en el desempeño de las modulaciones usadas por 802.11b y 802.11g, como se puede observar en las caídas que se producen para 5.5 y 11 Mbps.

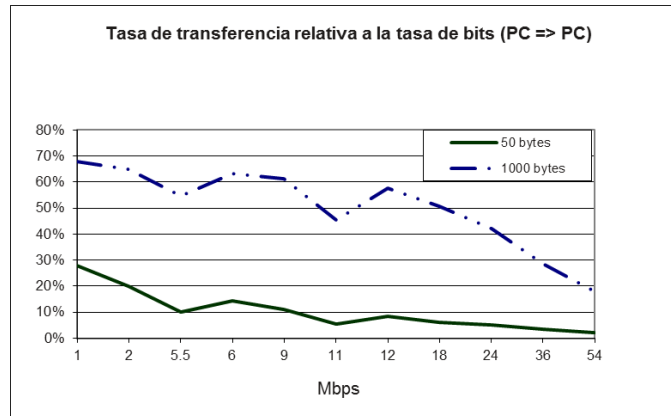


Fig. 2. Tasa de transferencia como porcentaje de la tasa de bits, para paquetes de 50 y 1000 bytes.

Por otra parte, se puede observar que a 1 Mbps se obtiene la mejor relación entre tasa de transferencia y tasa de bits. Esto se debe a la mayor inmunidad al ruido que tiene la modulación DBPSK con respecto a las modulaciones más complejas usadas para tasas más altas.

2.2 Tasa de transferencia desde un módulo RCM5600W a una computadora

Este ensayo fue igual al anterior, pero reemplazando la computadora que envía los datos por un módulo Rabbit RCM5600W. La finalidad de esta prueba es comparar con los resultados presentados en el ítem anterior, a fin de detectar las limitaciones que eventualmente imponga la arquitectura más restringida del módulo del microcontrolador. Los resultados se presentan en las Fig. 3 y 4.

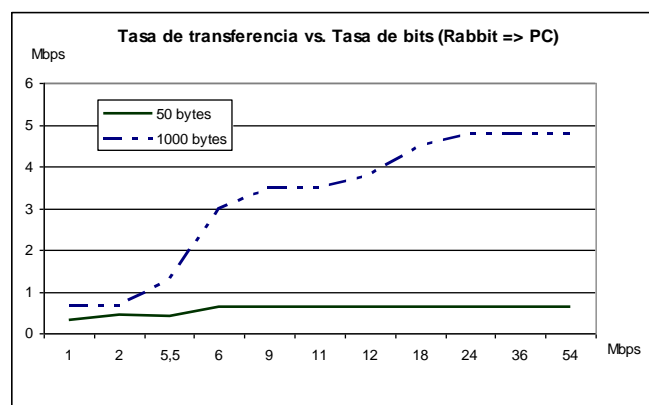


Fig. 3. Tasa de transferencia de un módulo RCM5600W en función de la tasa de bits.

También en este caso se puede apreciar la caída para las tasas de transmisión de 5.5 y 11 Mbps.

Un aspecto a tener en cuenta es que el módulo Rabbit, debido a sus funciones de bibliotecas dadas por el fabricante, puede escoger una tasa inferior a la fijada dentro de las correspondientes a la misma norma (por ejemplo: si se fijó 36 Mbps puede bajar a 24, 18, 12, 9, 2 o 1, pero no a 11 ni 5.5). Durante los ensayos fue posible observar que, habiendo fijado tasas de 36 y 54 Mbps, la efectivamente utilizada fue 24 Mbps. Esto queda reflejado en la meseta que hace la curva de la Fig. 3, a partir de 24 Mbps, para paquetes de 1000 bytes.

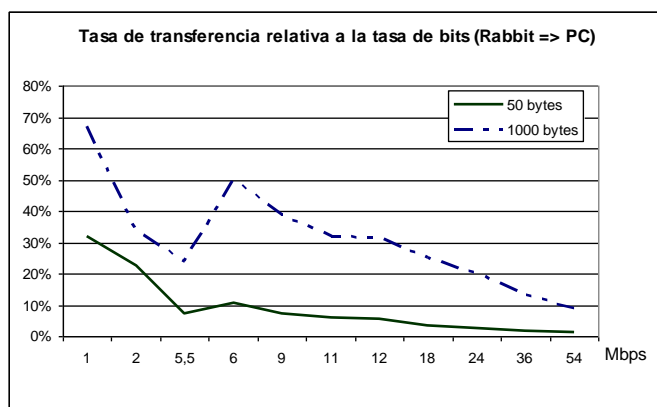


Fig. 4. Tasa de transferencia relativa a la tasa de bits, para el tráfico desde un módulo RCM5600W a una computadora, en función de la tasa de bits.

Comparando estos resultados con los del ensayo anterior se puede concluir que:

- A 1 Mbps el rendimiento para las transmisiones desde el módulo Rabbit y la computadora ha sido similar, según se puede ver en la figura 5.

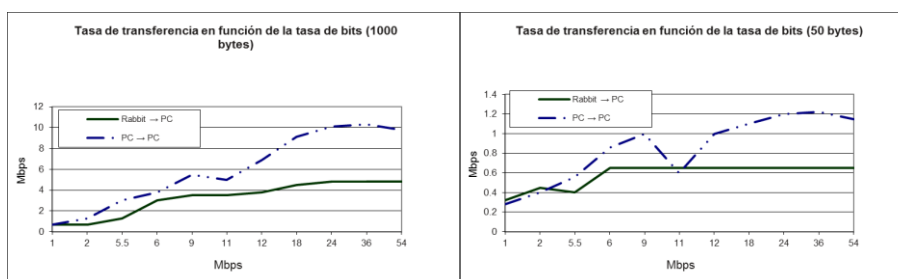


Fig. 5. Comparación de la tasa de transferencia para el tráfico desde un módulo RCM5600W a una computadora y de una computadora a otra.

- A medida que aumenta la tasa de bits, el rendimiento del módulo Rabbit, especialmente para paquetes de 1000 bytes, ha sido inferior que para la

computadora. Esto puede ser debido a cuestiones estructurales impuestas por las limitaciones de la arquitectura del módulo Rabbit, que no alcanza para sostener una transmisión continuada de paquetes largos. Este resultado muestra las limitaciones en cuanto a la capacidad de tráfico para un módulo Rabbit en forma individual. Sin embargo, en una red conformada por varios de estos nodos el tráfico agregado de todos ellos podrá alcanzar el límite de ancho de banda disponible en la red.

2.3 Tasa de transferencia en función del tamaño de la red para paquetes cortos

Como continuación de los ensayos anteriores, se planteó un escenario para una red destinada a conectar los nodos de un sistema de instrumentación y control con un servidor, basado en una topología como la que se presenta en la Fig. 6. La red es de tipo infraestructura, en la que los nodos inalámbricos (habitualmente dispositivos embebidos que manejan sensores y actuadores) se conectan a la red a través de un punto de acceso, a través del cual acceden al servidor que se encuentra en la red cableada.

En este tipo de aplicaciones es habitual que por la naturaleza del sistema existan requerimientos de tiempo real y que los distintos nodos tengan previsto efectuar transmisiones periódicas de paquetes cortos. En función del tamaño de los paquetes y su periodicidad es posible calcular la tasa de transferencia efectiva requerida para un cierto conjunto de nodos:

$$W_{req} = \sum_{i=1}^N \frac{L_i}{T_i} \left[\frac{bit}{seg} \right] \quad (1)$$

Donde: L_i : tamaño de la carga útil de los paquetes enviados por el nodo i [bits]
 T_i : período entre transmisiones del nodo i [s]

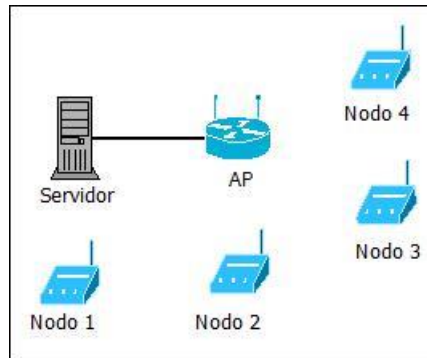


Fig. 6. Topología utilizada para los ensayos con varios nodos transmitiendo a un servidor.

A fin determinar la tasa de transferencia efectiva que es posible alcanzar en una red, en función de la tasa de bits y de la cantidad de nodos participantes, en este

ensayo se conformó una red con 6 nodos. El ensayo consistió en que todos los nodos intentaran transmitir de manera continuada una trama detrás de la otra, con una carga de 50 bytes, a fin de saturar la red (curva 2). Asimismo, con fines comparativos, se incluyen también los resultados correspondientes a las transmisiones desde un único nodo hacia el servidor (curva 1). En Tabla 1 y Fig. 7 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 1. Tasa de transferencia en función de la tasa de bits, para dos tamaños de red y paquetes de 50 bytes.

	Tasa de bits										
	1	2	5.5	6	9	11	12	18	24	36	54
Un nodo → Serv.	280	400	560	860	1000	600	1000	1100	1200	1220	1150
6 nodos → Serv.	262	380	557	962	1106	665	1256	1376	1474	1500	1404

Del análisis de estos resultados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Se obtienen mayores tasas de transferencia en conjunto cuando hay más de un nodo transmitiendo en la red, debido a otras tareas que un nodo debe realizar además de transmitir.
- Sin embargo, el incremento de la tasa de transferencia no es proporcional al incremento de la tasa de bits sino que crece más lentamente. Por ejemplo: para la curva (2), al aumentar la tasa de bits de 1 Mbps a 12 Mbps (1200 %), la tasa de transferencia pasó de 262 kbps a 1256 kbps (479 %). Esto se debe a las sobrecargas impuestas por los protocolos involucrados, especialmente el encargado de controlar el acceso al medio.

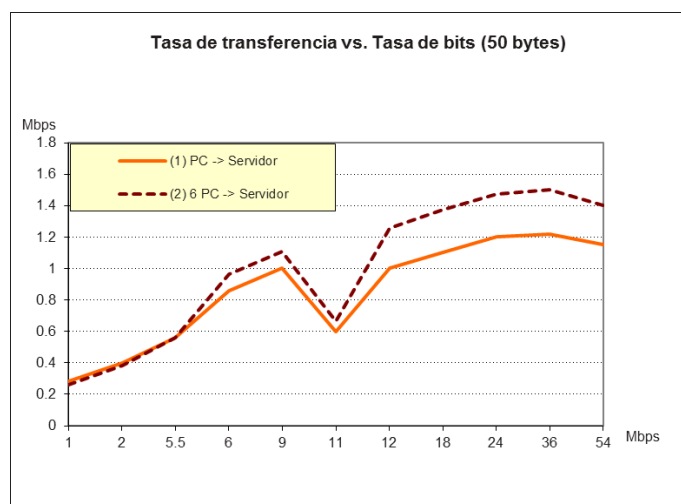


Fig. 7. Tasa de transferencia en función de la tasa de bits, para distintos tamaños de red y paquetes de 50 bytes.

También para esta serie de ensayos se estableció la relación entre la tasa de transferencia y la tasa de bits, cuyos resultados se presentan en la Fig. 8. Nuevamente puede observarse que la mejor relación corresponde a las tasas de 1 y 2 Mbps. A mayor tasa de bits para un mismo tipo de modulación la inmunidad al ruido es menor por lo que aumenta la cantidad de paquetes perdidos. Por otra parte, como las modulaciones usadas para 5.5 y 11 Mbps son menos robustas, también presentan resultados inferiores a los demás.

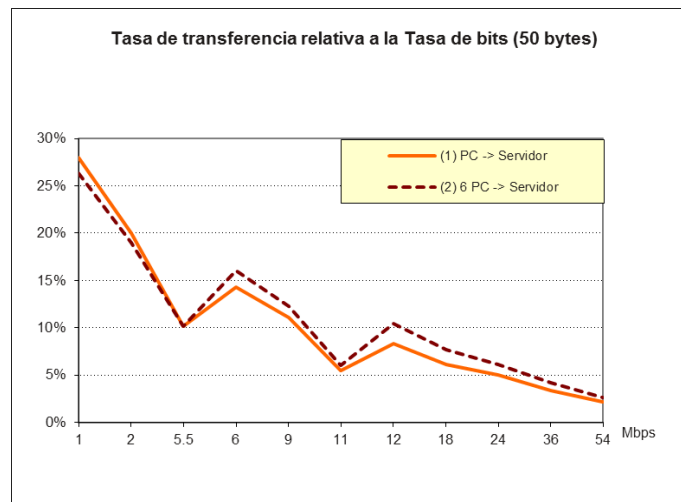


Fig. 8. Tasa de transferencia relativa a la tasa de bits, para distintos tamaños de red.

Tomando como base los resultados obtenidos en esta serie de ensayos, el objetivo es definir pautas de utilidad para el diseño y configuración de redes inalámbricas con requerimientos de tiempo real. Cabe destacar que en una próxima etapa se continuarán realizando otros ensayos con el objetivo de completar la base de información necesaria para cubrir el mayor espectro posible de posibilidades (mayor cantidad de nodos, combinación de tamaños de paquetes, tasa de pérdida de paquetes en distintas condiciones, etc.)

3 Pautas para el Diseño y Configuración de una Red con Requerimientos de Tiempo Real

En base a los resultados precedentes se tiene el objetivo de elaborar un esquema que permita seleccionar las condiciones de operación de la red más convenientes para un determinado conjunto de requerimientos de transmisión con restricciones de tiempo real. Hacemos notar que por la naturaleza probabilística del mecanismo de control de acceso al medio usado por estas redes inalámbricas, su uso no es apto para sistemas de tiempo real duro sino para sistemas que toleren una cierta tasa de pérdida de paquetes.

A partir de la fórmula (1), que permite calcular los requerimientos de tasa de transmisión para un cierto conjunto de nodos, y asumiendo que los valores detallados en la segunda fila de la Tabla 1 (6 PC->Serv) representan la tasa de transferencia efectiva en condiciones de saturación de la red, una condición necesaria será que:

$$W_{req} = \sum_{i=1}^N \frac{L_i}{T_i} < W_{ef}(BR) \quad (2)$$

Donde: W_{req} : tasa de transferencia efectiva requerida [bit/s]

L_i : tamaño de la carga útil de los paquetes enviados por el nodo i [bits]

T_i : período entre transmisiones del nodo i [s]

$W_{ef}(BR)$: tasa de transferencia máxima en función de la tasa de bits [bit/s]

Esto permite establecer una condición de mínima para asegurar la factibilidad del sistema, sin embargo es necesario tener en cuenta otros factores como la tasa de pérdida de paquetes de la red bajo distintas condiciones de operación y la tolerancia a las mismas por parte de las aplicaciones. Este es un tema actualmente en estudio, cuyos resultados se presentarán en un futuro trabajo.

Poder elaborar una estrategia para seleccionar y verificar los parámetros de operación adecuados para una red local inalámbrica bajo requerimientos de tiempo real es una contribución novedosa sobre la que se continúa trabajando, realizando ensayos que permitan determinar las mejores condiciones de operación en función de los requerimientos de las aplicaciones que utilizan la red.

4 Conclusiones

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar un análisis para determinar las mejores condiciones de operación de las capas PHY y MAC del estándar 802.11 (incluyendo sus variantes b y g), teniendo en cuenta los requerimientos típicos para una red inalámbrica de dispositivos embebidos en tiempo real.

Los ensayos realizados permitieron observar que puede resultar conveniente utilizar diferentes tasas de bits, en función del tamaño de las tramas a transmitir. Para paquetes pequeños, típicamente usados para comandos y respuestas, resulta de mayor importancia la inmunidad al ruido para aumentar probabilidad de que el mensaje llegue a destino y evitar la necesidad de retransmisiones. En estos casos resulta conveniente la velocidad de 1 Mbps. Por el contrario, el envío de tramas largas, típicamente asociadas al transporte de importantes volúmenes de información, requieren de una combinación adecuada de inmunidad al ruido (para evitar la necesidad de retransmisiones por pérdida de paquetes) y ancho de banda. En este sentido resultan convenientes las tasas de bits correspondientes a 802.11g, que utilizan una modulación más robusta que la de 802.11b.

Futuros trabajos se focalizaran en definir una estrategia que permita combinar el uso de diferentes tasas de bits, dependiendo del tipo de tráfico que se vaya a transmitir, como así también de los distintos requerimientos de tiempo real que deben ser satisfechos con una dada tolerancia a la pérdida de paquetes.

Referencias

1. "IEEE Std 802.11; Part 11 (2007): Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", 1999.
2. Guillermo Friedrich, Omar Alimenti and Guillermo Reggiani, "WRTMAC: a MAC proposal for 802.11 networks in factory automation". 15th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'2010), ISBN:978-4244-6849-2, September 13-16, 2010, Bilbao, España.
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5641191>
3. Omar Alimenti, Guillermo Friedrich, Guillermo Reggiani, Santiago Tonietti, Federico Maidana y Damián Gómez de Marco, "Una adaptación del protocolo EDCA para tiempo real". 29th Edition The Symposium on Computer Networks and Distributed Systems (SBRC 2011) and XIII Brazilian Workshop on Real-Time and Embedded Systems (WTR 2011), Florianópolis, Brasil, ISSN: 978-0-7695-4641-4/11, pp: 145-150, 7 al 11 de noviembre de 2011. Publicado en IEEE Digital Library:
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6114849>.
4. Omar Alimenti, Guillermo Reggiani, Guillermo Friedrich, Santiago Tonietti, Gabriela Velásquez y Lorena Cofré, "Evaluación de EDCA 802.11e en tiempo real con agrupamiento por clases de prioridad". XVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación - CACIC 2012 -VII Workshop de Arquitecturas, Redes y Sistemas Operativos (WARSO) 2012, ISBN 978-987-1648-34-4, Bahía Blanca, Argentina, 8 al 12 de octubre de 2012.
5. Omar Alimenti, Guillermo Friedrich, Guillermo Reggiani, Santiago Tonietti, Gabriela Velásquez y Lorena Cofré, "Análisis del tiempo de respuesta en entornos de tiempo real sobre el MAC 802.11e". Presentado en las 41° Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa (JAIIO), 13th Argentine Symposium on Technology (AST 2012), realizadas en la Facultad de Informática de la Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina, del 27 al 31 de agosto de 2012
6. Tianlin Wang and Hazem H. Refai, "Empirical network performance analysis on IEEE 802.11g with different protocols and signal to noise ratio values," in International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN 2005), Dubai, United Arab Emirates, March 2005, pp. 29–33.
7. J. De Bruyne, W. Joseph, L. Verloock, L. Martens, "Evaluation of link performance of an indoor 802.11g network". Consumer Communications and Networking Conference, 2008. CCNC 2008. 5th IEEE, pp: 425–429.
8. MiniCore RCM 5600W Series. <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/solutions-on-module/rabbit-minicore/rcm5600w>.
9. <http://www.wifislax.com/>
10. <http://sourceforge.net/projects/iptraf-ng/>
11. <http://www.metageek.net/products/inssider/>